

Engenharia Civil

Considerações sobre prova de carga em estruturas de concreto

Clayton Reis de Oliveira

*Professor Mestre, Departamento de Estruturas e Edificações, Faculdade de Engenharia de Passos
Fundação de Ensino Superior de Passos da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG
E-mail: claytonr@fec.unicamp.br*

Armando Lopes Moreno Junior

*Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil
Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP
E-mail: almoreno@fec.unicamp.br*

Resumo

Um dos testes mais eficientes para verificar a segurança de uma estrutura já concluída é uma prova de carga. Quando existem dúvidas quanto à estabilidade de uma estrutura, devido a fatores, entre outros, como qualidade dos materiais de construção, utilização ou manutenção inadequada ou até mesmo uma nova utilização da edificação, diferente daquela inicialmente prevista no projeto, uma prova de carga é recomendada. Esse trabalho visa a apresentar os critérios mais importantes que devem ser considerados em uma prova de carga. Avalia procedimentos das normas brasileira (NBR 9607-1986), americana (ACI 318-2002), australiana (AS 3600-2001) e recomendações espanhola (EHE-1998) e européia (Rilem TBS-2 -1984). Destaca aspectos como a obrigatoriedade de uma prova de carga, intensidade do carregamento a ser aplicado, análise dos resultados e critérios de aceitação estipulados pelas referidas normas e recomendações.

Palavras-chave: Avaliação estrutural, prova de carga, estruturas, concreto.

Abstract

One of the most efficient tests to verify the safety of a structure already concluded is a load test. When doubts exist about the stability of a structure, due to factors, among other, as quality of the construction materials, use or inadequate maintenance or even a new use of the construction, different from that initially foreseen in the project, a load test is recommended. This work seeks to present the most important criteria that should be considered in a load test. It evaluates procedures of the Brazilian Code (NBR 9607-1986), American Code (ACI 318-2002), Australian Code (AS 3600-2001), Spanish Recommendations (EHE-1998) and European Recommendations (Rilem TBS-2-1984). Aspects as the compulsory nature of a load test, intensity of the applied load, analysis of the results and acceptance criteria stipulated by the referred codes and recommendations are considered.

Keywords: Structural evaluation, load test, structures, concrete.

1. Introdução

O que se espera de uma estrutura em concreto armado é que esta cumpra requisitos mínimos de segurança, funcionalidade e aspecto estético que lhe sejam exigidos em função das ações e influências ambientais que venham a atuar sobre a mesma durante sua vida útil.

Entretanto, o que se tem verificado, nos últimos anos, é uma grande degradação dessas estruturas, em virtude de determinados problemas patológicos, associados ao uso ou ambiente em que essas estruturas estão inseridas.

Segundo Casadei et al (2003), um grande número de estruturas de concreto armado nos EUA precisam de uma avaliação estrutural. Essas estruturas tiveram sua utilização, inicialmente, prevista em projeto, modificada com incrementos de carregamentos de utilização.

Em trabalho de Faber, Val e Stewart (2000), é dado uma alerta a respeito do evidente envelhecimento de estruturas de pontes nos EUA, Europa, Canadá e Austrália. Fato semelhante vem acontecendo em vários países. No Brasil, conforme Palazzo (2003), a situação das pontes rodoviárias pode ser considerada idêntica a esse quadro de depreciação. Uma verificação de resistência é necessária, motivada por novos valores de carregamentos - impostos pelo aumento de tráfego - e, também, pela ausência de uma política de manutenção.

Rocha (1942), na década de quarenta, já citava o fenômeno de desenvolvimento dos transportes rodoviários e ferroviários no Brasil, salientando o continuado aumento de carga proveniente do tráfego e, por consequência, a necessária reforma ou substituição precoce de estruturas, clamando pelo projeto e execução de obras mais arrojadas.

Fato semelhante acontecia com as edificações urbanas devido à valorização imobiliária; edifícios fabris passaram a ser adaptados a novas utilizações, nem sempre com alívios de carregamentos.

A construção de novas estruturas é tarefa difícil, especialmente se levar-

mos em consideração o grande volume de capital e de tempo envolvidos. Entretanto muitas estruturas existentes, cujo comportamento pairam dúvidas, podem ser aproveitadas mediante uma avaliação estrutural. Nesse sentido, conforme Plewes e Schousboe (1967), duas alternativas podem ser empregadas na avaliação de uma estrutura existente: o método analítico ou o método experimental.

Doebelin (1990) analisa os aspectos de cada método e destaca suas principais características. Segundo o autor, os métodos analíticos exigem aplicações de hipóteses matemáticas, com o problema real simulado através de modelagem numérica. Nos dias atuais, os modernos computadores permitem um tratamento teórico mais próximo da situação real, o que não se conseguia fazer no passado. Entretanto, vale observar, seus resultados sempre estarão condicionados à similaridade de comportamento do modelo ao da situação real.

Em relação aos métodos experimentais, Doebelin (1990) salienta que os mesmos revelam o comportamento real da estrutura sob carga. O teste de carregamento direto dessas estruturas - a chamada "prova de carga" - é o meio aconselhado para resolver o problema. Todavia alerta para os aspectos da precisão na condução do teste, obtenção de dados e aferição dos equipamentos de medida.

2. Prova de Carga

2.1 Desenvolvimento histórico

Os egípcios ergueram suas grandes obras há milhares de anos. Entretanto, não há registros documentais dos critérios de avaliação dos materiais e das estruturas usados por eles. Foi Leonardo da Vinci, no século XV, quem primeiro documentou testes de carregamento com a finalidade de avaliar o comportamento estrutural de uma edificação. Posteriormente, Galileu Galilei (1564-1642), considerado o introdutor do método empírico nas ciências, também realizou testes de carregamentos em estruturas, submetendo determinadas estruturas a certos tipos de carregamentos com o objetivo de

estudar as tensões que atuavam sobre elas.

Já no século XIX, com a revolução industrial, a padronização de processos tornou-se prática necessária como forma, entre outros requisitos, de garantia de qualidade. Alguns materiais começam a ter procedimentos-padrão para avaliação de propriedades mecânicas de interesse.

Com o passar dos anos, adentrando-se no século XX, e com o crescimento populacional, procedimentos de dimensionamento passam a ser padronizados e regulamentados, surgindo as Normas de Dimensionamento. No caso de elementos estruturais, pesquisadores de todo o mundo, com destaque para Leonhardt, na Alemanha, executam grandes séries de testes de carregamento em elementos estruturais com o objetivo de estabelecer procedimentos de dimensionamento.

A Tabela 1, extraída de Hall e Tsai (1989), descreve um breve histórico dos testes de carregamento, dando ênfase à prática de engenharia empregada e a correlação dos testes de carga com os resultados previstos de acordo com procedimentos analíticos de dimensionamento.

Ao longo dos anos, vários pesquisadores submeteram estruturas a certos tipos de carregamentos, mas foi devido à demanda do desenvolvimento tecnológico e da necessidade de adaptar as antigas construções aos novos tempos que os testes de carregamento ganharam um importante significado.

No caso de testes de carga em estruturas, a situação é mais complexa e, quando comparada aos testes feitos em elementos estruturais isolados, o número de testes executados é infinitamente inferior.

2.2 Prova de carga: definições e parâmetros envolvidos

Um dos testes mais eficientes para verificar a segurança de uma estrutura já

Tabela 1 - Histórico de testes de carregamento [Fonte: Hall e Tsai, 1989].

Período	Prática de engenharia empregada	Teste de carregamento versus cálculos
Antigüidade	Uma arte passada através de experiência de construção para construção	Intuição, erros e acertos. Testes de carregamento e procedimentos de dimensionamento quase inexistentes.
Renascimento	Primeiras tentativas de padronização de testes e procedimentos de dimensionamento (compressão, tração, flexão)	Testes de carregamento, utilizados para calibrar modelos teóricos de resistência.
Século XIX	Manuais que davam pequenas informações sobre a resistência dos materiais (elevados coeficientes de incerteza)	Torna-se usual o emprego de procedimentos-padrão para testes de carregamento, principalmente destinados à caracterização de materiais. Procedimentos de dimensionamento pouco desenvolvidos.
Início do século XX	Primeiros equipamentos de ensaios para caracterização de materiais (Irmãos Wright e indústria automobilística) Primeiros códigos de normalização (ASTM).	Grande incremento na utilização de testes de carregamento em elementos estruturais e estruturas. Grande desenvolvimento de procedimentos analíticos de dimensionamento.
Tempos atuais	Uma ciência baseada em normalizações de comportamento resistente de materiais e procedimentos de dimensionamento.	Estruturas tipicamente projetadas mediante procedimentos analíticos padronizados. Testes de carregamento especificados e padronizados.

concluída é uma prova de carga. Quando existem dúvidas quanto à estabilidade de uma estrutura, quanto à idoneidade dos materiais de construção, utilização inadequada, ou até mesmo uma nova utilização da estrutura, é recomendado um teste de carregamento ou a chamada “prova de carga”.

Entretanto um teste de carregamento em um elemento estrutural em grande escala ou na estrutura completa, pode ser uma operação cara e consumir muito tempo. Desta forma, é adotado esse teste, geralmente, depois que outras hipóteses baseadas em cálculos analíticos, exames e testes localizados dos materiais apresentem um indicativo de falhas

que possam comprometer a segurança da estrutura durante sua utilização normal.

De acordo com a NBR-9607 (1986), prova de carga é definida como sendo um conjunto de atividades destinadas a analisar o desempenho de uma estrutura através da medição e controle de efeitos causados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

Conforme observa a recomendação espanhola EHE (1998), as provas de carga são instrumentos válidos de efetivo estabelecimento de parâmetros de dimensionamento de estruturas, tais como distribuição de carregamentos, rotações

de apoio e deslocamentos verticais máximos, visão esta, atualmente, incorporada em recentes normas nacionais.

Existem dois tipos de prova de carga: a prova de carga estática, que consiste na observação do comportamento da estrutura sob carga estática, e a prova de carga dinâmica, que consiste, basicamente, na vibração da estrutura e observação de seu comportamento quando vibrada. Esse trabalho se limitará ao primeiro caso.

Um ensaio de prova de carga estática pode ser classificado como destrutivo ou não destrutivo. O ensaio destrutivo é empregado quando o objetivo é avaliar o comportamento da estrutura até

a ruína, em situação última de carregamento. No ensaio não destrutivo, a estrutura, ou elemento estrutural, é carregado a níveis de serviço, sem atingir à ruptura, permitindo, nesse caso, que a estrutura possa ser colocada novamente em utilização, caso os resultados sejam aceitáveis.

Uma prova de carga envolve a análise da resposta da estrutura sob a influência das cargas e interpretação dos resultados. A resposta da estrutura é, via de regra, por intermédio de deformações e deslocamentos. Cánovas (1988) reitera que uma prova de carga se aplica a elementos que se deformam mediante a aplicação de carga, tais como vigas, lajes e outros elementos fletidos, não sendo recomendada a pilares que trabalham à compressão ou vigas curtas submetidas ao esforço cortante, pelo fato de possível ruptura sem aviso para estes elementos, quando carregados.

O carregamento utilizado em uma prova de carga pode ser composto por bolsas de água, sacos de areia, sacos de cimento, reservatórios confeccionados com lonas plásticas e preenchidos com água e, no caso de pontes, por caminhões, locomotivas, agregados graúdos ou por meios mecânicos, como macacos hidráulicos.

Já os instrumentos de se medirem deformações na estrutura, causadas pelos carregamentos, são baseados em princípios mecânicos, óticos e elétricos. Comumente se utilizam os extensômetros elétricos e mecânicos, os defletômetros e os clinômetros. Recentemente, sensores de fibra ótica têm sido aplicados em muitas partes do mundo. Além destes, os instrumentos de topografia, como os teodolitos, níveis digitais e estações totais, têm se mostrado muito eficientes na coleta de dados.

As especificações para as provas de carga variam de país para país e, conforme Veneziano (1978), variam nos procedimentos dos testes: tipo e localização das cargas, tempo de duração do carregamento, ciclos de carregamentos, instrumentação e valores a serem medidos, intensidade do carregamento (fre-

quentemente uma combinação de carga permanente e sobrecarga) e no critério de aceitação.

Nesse trabalho, serão analisadas as especificações da Norma Brasileira: NBR 9607 (1986); da Norma Americana: ACI-318 (2002); da Norma Australiana: AS 3600 (2001); da Recomendação Espanhola: EHE-1998 e da Recomendação Européia: Rilem TBS-2 (1984).

3. Aspectos normativos

3.1 Obrigatoriedade de um ensaio de prova de carga

Em alguns países, existem regulamentos que estabelecem que certas estruturas de uso público (como pontes, por exemplo) devam ser entregues mediante uma prova de carga. Do mesmo modo, também estabelecem situações específicas, onde uma prova de carga deve ser executada obrigatoriamente.

No Brasil, a postura adotada, em relação às estruturas de concreto usuais, é a de que, se estas forem executadas de acordo com o projeto e se os materiais empregados forem aprovados nos ensaios de controle de qualidade, admite-se a aceitação automática da estrutura. Para as obras viárias, são empregados os mesmos critérios relativos à qualidade dos materiais, fazendo-se, paralelamente, uma verificação do projeto estrutural.

De acordo com a norma brasileira NBR 9607 (1986), uma prova de carga é recomendada em casos de eventual alteração das condições de utilização da estrutura, no caso de fases construtivas que acarretem solicitações excepcionais em parte da estrutura, após acidentes ou anomalias observados durante a execução ou utilização de uma estrutura, na falta total ou parcial de elementos de projeto, quando as condições construtivas são desconhecidas ou com a finalidade de estudar o comportamento de estruturas.

Para o ACI-318 (2002), uma prova de carga é indicada quando existem dúvidas em relação à segurança de partes ou da estrutura completa. A avaliação da

resistência estrutural pode ser exigida, no caso de materiais de construção considerados de baixa qualidade, no caso de existirem evidências de imperfeições ou falhas na construção, no caso da estrutura apresentar-se deteriorada e no caso de alteração das condições de utilização da edificação.

Já a recomendação européia, Rilem TBS-2 (1984), propõe que os testes de carregamento sejam executados sempre que se necessite obter conhecimento do comportamento real de parte ou de uma estrutura completa, quando carregada. Da mesma forma que os outros códigos, particulariza determinadas situações em que é recomendado um teste de carga, como para análise das condições em serviço de uma estrutura, ou para se estabelecerem referências de comportamento em relação à rigidez, deslocamentos, formação e abertura de fissuras, sempre que existirem dúvidas em relação à segurança de uma estrutura ou parte dela, no caso de alteração de uso da edificação, no caso da estrutura ter sido submetida a ações não previstas no projeto (fogo, explosões, abalos sísmicos, etc.), no caso de estruturas concebidas com dimensões não usuais (grandes vãos, grandes alturas, espessuras reduzidas, etc.), nos casos de inexistência de projeto ou de projeto em desacordo com os procedimentos vigentes de dimensionamento e no caso de emprego de materiais de qualidade duvidosa.

Para a norma australiana, AS 3600 (2001), uma prova de carga deve ser executada em circunstâncias especiais e no caso de estruturas (protótipos) com procedimentos de dimensionamento não englobados pelos códigos vigentes. Em realidade, simplesmente não especifica situações particulares de realização de testes de carga.

A recomendação espanhola, EHE (1998), recomenda uma prova de carga visando à segurança estrutural e classifica os testes de carregamento em três categorias, de acordo com sua finalidade: Provas de Carga Regulamentares, Provas de Carga como Informações Complementares e Provas de Carga para Avaliar a Capacidade Resistente.

As provas de Carga Regulamentares são todas aquelas exigidas por prescrições técnicas, instruções ou regulamentos específicos, onde o comportamento da estrutura em serviço deve ser comprovado, como é o caso das pontes rodoviárias e ferroviárias e têm por objetivo comprovar a adequada concepção e execução das obras frente às cargas as quais estarão submetidas.

As Provas de Carga como Informações Complementares são aquelas efetuadas em ocasiões em que se mostre necessária à obtenção de informações complementares da estrutura. Por exemplo, no caso da ocorrência de problemas durante a fase de construção da edificação.

As Provas de Carga para Avaliar a Capacidade Resistente são aquelas utilizadas como meio de ser avaliada a segurança da estrutura.

3.2 Intensidade de carregamento

A intensidade do carregamento a ser aplicado durante uma prova de carga é parâmetro diferenciado entre os códigos avaliados.

A norma brasileira, NBR 9607 (1986), ao mencionar sobre o valor da carga de teste, propõe um valor numérico, denominado “fator de carregamento”, que tem por finalidade indicar o nível de solicitação a que deve estar submetida uma seção ou ponto da estrutura durante uma prova de carga. O fator de carregamento Ψ é expresso por:

$$\Psi = \frac{F_e}{F_d} \quad (1)$$

sendo que F_e é o esforço solicitante teórico devido ao carregamento de prova de carga e F_d é o esforço solicitante teórico devido ao carregamento de projeto.

Também são estabelecidos dois parâmetros pela norma, a “eficiência do carregamento” e o “fator de segurança do ensaio”, F_s . A eficiência do carrega-

mento é o menor valor obtido para o fator de carregamento e o fator de segurança do ensaio, F_s , é o menor valor obtido para as relações entre os esforços resistentes (F_u) e os esforços solicitantes (F_e), ocasionados pelo carregamento de prova. F_s é expresso por:

$$F_s = \frac{F_u}{F_e} \quad (2)$$

sendo que F_u é o esforço resistente último teórico da seção.

A Tabela 2, apresentada pela NBR 9607 (1986), estabelece o fator eficiência do carregamento em função do tipo e emprego do ensaio de prova de carga.

Já o ACI-318 (2002) especifica que o carregamento total do ensaio (incluindo carga permanente) aplicado nas estruturas não deverá ser menor que 0,85 (1,4D + 1,7L), onde D é a carga permanente e L é a carga variável, sendo permitida a redução de L de acordo com as exigências aplicadas pelos códigos gerais de construção. É, portanto, uma carga equivalente a 85% da carga de projeto.

Segundo a recomendação europeia, Rilem TBS-2 (1984), o máximo valor da carga do teste é determinado de acordo com a proposta do ensaio. Em testes para verificar as condições de serviço, o valor da carga deve ser menor que o valor especificado em projeto. Já em testes para definir o máximo carregamento de serviço, o valor máximo de carregamento é aquele que corresponde aos limites de deformação da estrutura ou aos limites permitidos para abertura de fissuras. Da mesma forma, em testes para verificar a capacidade de resposta da estrutura sob carga, o valor máximo de carregamento deve ser aquele determinado a partir da resistência última dos materiais, correspondente à situação de início de escoamento do aço ou da resistência característica à compressão do concreto.

De acordo com a norma australiana, AS 3600 (2001), o carregamento máximo a ser aplicado em ensaios de prova de carga deve ser aquele correspondente ao estado-limite último ou ao de serviço, dependendo da proposta em avaliação.

A recomendação espanhola, EHE (1998), especifica que a parte da estrutura onde se realizará o ensaio deve ser submetida a uma carga total de 0,85(1,35 G + 1,5 Q), sendo que G é a carga permanente que irá atuar na estrutura e Q representa as sobrecargas previstas. Dessa maneira, este é o menor dos carregamentos recomendados pelas normas pesquisadas, exceto a brasileira, na qual o carregamento é variável e depende do tipo de ensaio.

3.3 Critérios de aceitação da estrutura sob avaliação

Um critério de aceitação, isto é, de comprovação efetiva do comportamento da estrutura sob carga, nem sempre é consenso geral entre os códigos avaliados.

A norma brasileira, NBR 9607 (1986), estabelece critérios de aceitação via comprovação do comportamento esperado em projeto. Para tanto, devem ser analisados, na memória de cálculo, os seguintes aspectos: critérios de projeto, normas utilizadas, materiais especificados, carregamentos de projeto, coeficientes de segurança e relações entre as quantidades de materiais resultantes do dimensionamento e as existentes na estrutura. Nos casos onde os registros técnicos não são conhecidos ou insuficientes, as investigações sobre a estrutura devem ser desenvolvidas através de inspeções à obra e através de consultas a referências relativas à época da sua execução, devendo ser avaliados os seguintes aspectos:

- (a) Características geométricas: execução de plantas “como construído”, das formas, vinculações, juntas, etc.
- (b) Utilização prevista originalmente para a estrutura: sua finalidade original ou classe de rodovia ou ferrovia para a qual foi projetada.
- (c) Condições de solicitações a que a estrutura já foi submetida: intensidade e frequência das cargas atuantes.
- (d) Idade da estrutura.

Tabela 2 - Classificação das provas de carga [NBR-9607/1986].

Ensaio	Eficiência do Carregamento	Emprego
Básicos	$0,5 < \Psi \leq 1,0$	- Recepção de estruturas em condições normais de projeto e construção. - Estudo do comportamento da estrutura.
Rigorosos	$1,0 < \Psi \leq 1,1$	- Dimensões, qualidade e/ou quantidades dos materiais não atendem aos requisitos de projeto. - Desconhecimento do projeto e/ou das condições construtivas. - Alteração das condições de utilização previstas para a estrutura. - Após acidentes ou anomalias observadas durante a execução ou vida útil de uma estrutura.
Excepcionais	$\Psi > 1,1^{(A)}$	- Passagem de cargas excepcionais. - Fases construtivas que acarretem solicitações excepcionais em partes da estrutura.

^(A) O coeficiente de segurança do ensaio em relação ao estado-limite último de estrutura deve ser superior a 1,4, salvo nas condições de se ter objetivo de levar a estrutura à ruptura.

(e) Normas vigentes por ocasião de sua execução: hipóteses de cálculo, materiais disponíveis, coeficientes de segurança prescritos.

(f) Análise de obras similares construídas na mesma época.

Um aspecto salientado pela norma brasileira é a análise imediata dos resultados. Essa análise deve ser feita após cada etapa do carregamento, com especial atenção para as análises dos resíduos de deformação e deslocamentos obtidos após os descarregamentos, pois esses valores indicarão o comportamento elástico da estrutura. A norma exige pelo menos quatro etapas de controle.

Em seu comentário sobre o critério de aceitação, o ACI-318 (2002), menciona que, em geral, a estrutura submetida a uma prova de carga é aprovada se não se notam evidências de ruptura. Essas evidências são fissuras com aberturas e/ou comprimentos excessivos, lascamentos, e até deslocamentos que com-

prometam a segurança da estrutura. Quando existem evidências de ruptura durante o teste não é permitido realizar um outro ensaio e o elemento testado não poderá ser posto em serviço sem uma avaliação com um carregamento de baixa intensidade.

Quanto ao máximo deslocamento, essa mesma norma estabelece que a estrutura sob carga irá satisfazer os critérios de aceitação se:

$$\Delta m_{\max} \leq \frac{l_t^2}{20h} \quad (3)$$

$$\Delta r_{\max} \leq \frac{\Delta m_{\max}}{4} \quad (4)$$

onde: Δm_{\max} representa a medida do máximo deslocamento; Δr_{\max} , o valor do deslocamento residual máximo; l_t é o vão do elemento a ser testado e h é a altura do elemento.

Se as equações (3) e (4) não forem verificadas e, no caso da não observân-

cia de iminência de ruptura já descrita, é permitida a repetição do teste. Essa repetição deve ser feita 72 horas depois de removida a carga do primeiro teste. Nesse caso, a parte da estrutura na qual se repetirá o teste será considerada aceitável se:

$$\Delta r_{\max} \leq \frac{\Delta f_{\max}}{5} \quad (5)$$

onde: Δf_{\max} é o máximo deslocamento medido no segundo teste, relativo à posição inicial da estrutura no segundo teste.

Já a Rilem, TBS-2 (1984), estabelece modos específicos de caracterização da ruptura durante um teste de carga. A ruptura da estrutura é caracterizada quando ela, ou parte dela, entra em colapso, se torna instável, a deformação aumenta sem o aumento de carregamento e o deslocamento vertical é igual ou superior a $L/50$ (sendo L o vão do elemento testado).

Considerados esses modos de ruptura e dividindo-se os testes de carga naqueles em que se tem conhecimento da provável resposta da estrutura sob carga e naqueles em que o desconhecimento deste comportamento é total (estruturas sem projeto conhecido), parâmetros de aceitação da estrutura são especificados.

A aceitação, desconhecendo-se a capacidade de resposta da estrutura sob carga, está ligada a não ocorrência de aberturas-limites de fissuras e, da mesma forma, na ausência de deslocamentos verticais e deformações que excedam valores limites preestabelecidos. Já a aceitação, conhecendo-se a capacidade de resposta da estrutura, é dada se os deslocamentos verticais máximos obtidos não excedem o valor limite preestabelecido em 20% para o concreto armado e em 25% para o protendido.

No caso da norma australiana, AS 3600 (2001), existem critérios de aceitação relacionados à resistência e ao deslocamento. A aceitação quanto à resistência é verificada, se o elemento, carregado com a carga de projeto, for capaz de ficar, pelo menos, 24 horas sem ocorrer danos significativos, como lascamentos ou fissuração excessiva. Já a aceitação quanto ao deslocamento é verificada, quando o elemento atende a condi-

ção de resistência sem alcançar os valores-limites de deslocamentos estabelecidos na Tabela 3.

Para a recomendação espanhola EHE (1998), os critérios de aceitação são estabelecidos em função da classificação da prova de carga, feita pela mesma. Para as *Provas de Cargas Regulamentares* e para as *Provas de Cargas como Informações Complementares*, de um modo geral, exceto em situações especiais justificadas, os resultados dos ensaios serão tomados como satisfatórios se não aparecerem fissuras que não correspondam ao previsto em projeto e os deslocamentos verticais, rotações e frequências de vibrações medidas não excedam os valores de projeto em mais de 15% para o concreto armado e em mais de 10% para o concreto protendido.

Segundo essa mesma norma, no caso das *Provas de Carga para Avaliar a Capacidade Resistente*, os resultados do ensaio serão considerados satisfatórios quando não surgirem fissuras não previstas em projeto e o deslocamento vertical máximo for inferior a $l^2/20000h$, sendo que, l é o vão de cálculo e h é a altura do elemento. Retirada a carga e transcorridas 24 horas, o deslocamento vertical residual deverá ser inferior a 25% do máximo registrado nesse ciclo de carga, no caso de elementos em concreto

armado, e inferior a 20%, no caso de elementos de concreto protendido. Caso esses valores-limites de deslocamento vertical residual não sejam satisfeitos, é permitido realizar um segundo ciclo de carga e descarga depois de transcorridas 72 horas do fim do primeiro ciclo. Nesse segundo ciclo, o resultado será considerado satisfatório se o deslocamento residual obtido for inferior a 20% do deslocamento máximo registrado nesse ciclo de carga, para todo tipo de estrutura.

4. Considerações finais

Tem-se verificado, em várias nações, incluindo o Brasil, uma degradação das estruturas de concreto, devido ao envelhecimento e/ou por razões associadas à mudança de uso inicialmente previsto. Uma prova de carga é o teste mais indicado quando há dúvidas sobre o comportamento estrutural, além do mais eficiente no caso de a estrutura ter sido acometida de um sinistro ou ser posta em um outro uso para o qual não foi projetada. Esse ensaio permite analisar o comportamento da estrutura em serviço e também avaliar decisões a serem tomadas em eventuais medidas de reparo.

Tabela 3 - Limites para deslocamentos [AS-3600/2001].

Limites de deslocamentos para vigas e lajes			
Tipo de elemento	Deslocamento a ser considerado	Limitação por vão (Δ/L_{ef}). (Onde L_{ef} é o vão teórico do elemento)	Limitação para balanços (Δ/L_{ef}). (Onde L_{ef} é o vão teórico do balanço)
Todos os elementos	Deslocamento total	1/250	1/125
Elementos suportando alvenaria divisória	Deslocamento que ocorre depois da adição do acessório divisório	1/500	1/250
Elementos de pontes	Deslocamento devido à sobrecarga (e impacto)	1/800	1/400

Uma prova de carga é de elevada complexidade, tanto na sua realização, quanto na avaliação dos resultados obtidos. Tanto isto é verdade que somente profissionais experientes aventuram-se nesse ramo da engenharia de estruturas.

A complexidade é tamanha que a padronização de sua aplicação e de avaliação dos resultados é tarefa árdua. Na maioria das vezes, os códigos normativos transferem essa incumbência para o profissional responsável pela sua execução.

Desta forma, tentando ajudar a comunidade técnico/científica da área, esse trabalho apresentou os principais procedimentos de aplicação e avaliação dos resultados do ensaio conhecido como “prova de carga”, especificados por vários códigos normativos nacionais e internacionais.

Acredita-se que, desta maneira, os profissionais da área possam, ao menos, avaliar resultados de uma prova de carga tendo como base os vários procedimentos aqui apresentados.

5. Referências bibliográficas

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI – 318 Building code requirements for structural concrete and commentary*. Michigan: Farmington Hills, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9607 - Concreto endurecido - prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido*. Rio de Janeiro. 1986.
- AUSTRALIAN STANDARD AS 3600 - *Concrete structures*. Sydney. 2001.
- CÁNOVAS, M.F. *Patologia e terapia do concreto armado*. São Paulo. 1988.
- CASADEI, PAOLO. ET AL. *In-situ load testing of parking garage rc slabs: comparison between 24-hour and cyclic load testing*. Missouri: University of Missouri - Rolla, 2003. Disponível em < <http://campus.umar.edu/rb2c/publications/journal/2004/casa3.pdf> > Acesso em: 20 de ago. 2004.
- DOEBELIN, E.O. *Measurement systems - applications and design*. New York: McGraw-Hill. 1990.
- FABER, M. H., VAL, D. V., STEWART, M. G. Proof load testing for bridge assessment and upgrading. *Engineering Structures*, n. 22, p. 1677-1689, 2000.
- HAL, W. B., TSAI, M. Load testing, structural reliability and test evaluation. *Structural Safety, Elsevier Science Publishers*, v.6, p. 285-302, 1989.
- INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND CONSTRUCTION. *RILEM technical recommendations for the testing and use of construction materials / International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Construction*. London : E & FN Spon. 1994.
- MINISTERIO DE FOMENTO ESPAÑOL. *EHE - Instrucción de Hormigón Estructural*. Madrid: 1998.
- PALAZZO, DANIEL R. *Determinação de deslocamentos verticais em estruturas de pontes utilizando técnicas geodésicas*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. (Dissertação de Mestrado).
- PLEWES, W. G., SHOUSBOE, I. *Strength evaluation of existing concrete buildings*. ACI Committee 437, n.64-61, p.1-6, 1967.
- ROCHA, P.F. *Ensaio de verificação de estruturas*. São Paulo: IPT, 1972.
- VENEZIANO, D., MELI, R., RODRIGUEZ, M. Proof loading for target reliability. *Journal of the Structural Division, ASCE*, v. 104, n. ST1, January, p. 79-93, 1978.

Artigo recebido em 09/10/2006 e aprovado em 18/12/2006.

Rem - Revista Escola de Minas
71 anos divulgando CIÊNCIA.

www.rem.com.br
